

Vom Tragflügel zur Strömungsmaschine

Betz, Albert

Veröffentlicht in:
Abhandlungen der Braunschweigischen
Wissenschaftlichen Gesellschaft Band 17, 1965,
S.237-240



Friedr. Vieweg & Sohn, Braunschweig

Vom Tragflügel zur Strömungsmaschine

Von A. Betz, Göttingen

Rede in der Feierstunde am 30. April 1965

Herr Präsident!

Meine Damen und Herren!

Zunächst danke ich der Braunschweigischen Wissenschaftlichen Gesellschaft recht herzlich für die Verleihung der Gauß-Medaille. Ich weiß zwar nicht, was ich mit dem großen Mathematiker *Gauß* zu tun habe, da ich ja selbst Ingenieur aber kein Mathematiker bin. Ich freue mich aber trotzdem über die Ehrung, die ich dadurch erfahren habe. Ich freue mich außerdem, daß Sie mir hierbei Gelegenheit geben, Ihnen einiges aus einem Spezialgebiet zu erzählen, das mich in meinem langen Leben neben den Flugzeugen immer stark interessiert hat. Es sind dies die Strömungsmaschinen.

Strömungsmaschinen werden auf ganz verschiedenen technischen Gebieten gebraucht und haben entsprechend ganz verschiedene Formen. Man denke nur an Wasserturbinen, Dampfturbinen, Gebläse, Schraubenpropeller. Zunächst standen bei diesen Maschinen konstruktive maschinenbauliche Fragen wie Festigkeit, Lager u. dgl. im Vordergrund. Dementsprechend wurden sie in verschiedenen maschinentechnischen Fachgebieten getrennt entwickelt. Für die strömungstechnische Behandlung beschränkte man sich anfangs auf ziemlich primitive Vorstellungen, wie sie aus der Hydraulik als Strömung in Leitungen bekannt waren. Sie wurden nur den jeweiligen Maschinen angepaßt und so zu verschiedenen Theorien entwickelt. Mit der Zeit gewannen aber bei den steigenden Geschwindigkeiten die strömungstechnischen Anforderungen immer mehr Bedeutung. Dabei ergab sich, daß die sich entwickelnden strömungstechnischen Theorien trotz der verschiedenen Bauformen recht viel gemeinsam hatten. Von verschiedenen Seiten, wie insbesondere hier in Braunschweig von Professor *Pfleiderer*, wurde darauf hingearbeitet, dieses Gemeinsame stärker hervorzuheben und auszubauen. Dabei wirkte auch mit, daß die inzwischen hochentwickelte Theorie der Tragflügel sich für den Ausbau der Theorie der Strömungsmaschinen besonders fruchtbar verwerten ließ. Ich möchte Ihnen nun gerade aus dieser Entwicklung, der Anwendung der Tragflügeltheorie auf Strömungsmaschinen, einiges erzählen. Es war an sich ein weiter und nicht immer einfacher Weg und ergab manche überraschende Enttäuschung. Ich kann Ihnen hier natürlich nicht diesen ganzen Weg schildern und möchte nur einige ausgewählte Beispiele anführen, die aber vielleicht doch ein Bild geben von den Schwierigkeiten, die auftraten.

Da ich schon frühzeitig mit Propellern und Gebläsen zu tun hatte, kam ich auch bald dazu, zu versuchen, die Kenntnisse über Tragflügel für diese Gruppe von Strömungsmaschinen zu verwerten. Bei Luftschrauben bot dies keine Schwierigkeit und erwies sich ganz erfolgreich und machte Mut, dies Verfahren

auch bei anderen Strömungsmaschinen anzuwenden. Aber bei den Gebläsen traten ganz unerwartet Schwierigkeiten auf.

Im ersten Weltkrieg baute Professor *Prandtl* einen etwas größeren Windkanal, der als sogenannte Göttinger Bauart Vorbild für viele Windkanäle wurde. Hierzu entwarf er auch ein Antriebsgebläse unter Verwertung der von Tragflügeln bekannten Profileigenschaften. Ich sollte als sein Assistent ein Modell dieses Gebläses an einem eigens dafür gebauten Prüfstand erproben. Dabei zeigte sich aber, daß das Gebläse gerade in dem Bereich, in dem es den besten Wirkungsgrad haben sollte, stark zu heulen anfang und im Wirkungsgrad erheblich abfiel. Prandtl hatte ein ungewöhnliches absolutes Gehör und konnte angeben, aus welchen Tönen dieses Heulgeräusch bestand. Da ergab sich wieder etwas recht Merkwürdiges: Es enthielt nicht wesentlich die Sirenentöne, die entstehen würden, wenn in der Zuströmung eine im Raum festliegende Störung vorhanden wäre, also Frequenzen, die mit der Drehfrequenz des Rades oder vielfachen davon übereinstimmen. Es mußte von einer Störung kommen, die auch umlief, aber mit einer Drehzahl, die weder mit der Drehzahl des Gebläses noch mit einem Vielfachen derselben zusammenhing.

Die Erscheinung ließ sich folgendermaßen erklären. Wenn an einem der Flügel des Gebläserades die Strömung abreißt, so daß hier der Auftrieb und die Zirkulation um den Flügel geringer ist, so entsteht dadurch in der Umgebung eine Änderung der Strömung, die für den nachfolgenden Flügel eine Vergrößerung des Anstellwinkels, für den vorausgehenden eine Verringerung bedeutet. Der nachfolgende Flügel wird daher, wenn er schon in der Nähe der Abreißgrenze ist, abreißen, während am vorausgehenden ein etwa vorhandenes Abreißgebiet abgebaut wird. Das Abreißgebiet und die damit verbundene Strömungsstörung wandert daher von Flügel zu Flügel, wie wenn es von einer Störung in der Zuströmung erzeugt würde, die mit dem Rad, aber langsamer als dieses, umläuft. Einige Jahrzehnte später, als Axialräder für die Strahltriebwerke und für Gasturbinen immer mehr Bedeutung gewannen, hat man diese Erscheinung neu entdeckt. Man nannte sie „rotating stall“ und hat sie wegen ihrer technischen Wichtigkeit auch sehr eingehend untersucht. Damals konnte ich diese Erscheinung unterdrücken, indem ich an den äußeren Flügelen, wo sie hauptsächlich auftrat, dünne wenig gewölbte Profile mit entsprechend größerer Profillänge verwandte, die bei kleinen Anstellwinkeln gut sind, aber dafür eine große Anstellwinkelreserve bis zum Abreißen haben.

Durch diese ersten Untersuchungen an Gebläsen blieben Axialgebläse ein dauerndes Arbeitsgebiet der AVA und wurden in einer besonderen Abteilung unter Herrn *Encke* sehr weitgehend entwickelt. Außer dem „rotating stall“, den ich nur als Beispiel anführe, gab es ja noch viele Dinge, die bei der Verwendung der Tragflügel bei den Gebläsen zu beachten waren. Insbesondere waren weitere Fragen zu klären, als man von Gebläsen zu Axialkompressoren überging, bei denen die Geschwindigkeiten an die Schallgeschwindigkeit heranrückten. Als dann später bei der Entwicklung der Strahlflugzeuge Kompressoren gebraucht wurden, standen dafür gut geeignete Axialräder aus der Enckeschen Entwicklung zur Verfügung. Diese Bauart hat sich auch weiterhin für diese Zwecke allgemein durchgesetzt und die zeitweilig dafür verwandten Radialräder verdrängt.

Als nach dem Kriege die Forschung auf dem Gebiet der Luftfahrt zunächst verboten war, habe ich mich etwas eingehender mit Strömungsmaschinen befaßt, und vor allem versucht, die Ergebnisse der modernen Strömungslehre, insbesondere der weit ausgebauten Theorie der Tragflügel für die verschiedenartigen Strömungsmaschinen zu verwerten. Daraus ergab sich schließlich mein Buch „Einführung in die Theorie der Strömungsmaschinen“, das vor allem gerade manche wenig bekannte Zusammenhänge bringt. Dabei legte ich weniger Wert auf Kochbuchrezepte als auf eine möglichst verständliche Darstellung und Aufklärung der grundlegenden Erscheinungen.

Beim Übergang vom einzelnen Tragflügel zum Tragflügel in den Strömungsmaschinen sind sehr viele Einflüsse zu berücksichtigen. Es ist daher zweckmäßig, diesen Übergang durch eine Zwischenstufe aufzuteilen. Eine solche ist das sogenannte Strömungsgitter. Es besteht aus einer Reihe von gleichen Flügeln in gleichem Abstand und gleicher Einstellung. Gegenüber den einzelnen Flügeln kommt hier vor allem die Vielzahl der Flügel zur Geltung. Die Flügel beeinflussen sich gegenseitig.

Diese Wirkung kann man meist noch ziemlich gut rechnerisch abschätzen. Grundsätzlich wichtiger ist vielleicht der Umstand, daß der Druck vor und hinter dem Gitter verschieden sein kann, während er beim Einzelflügel in einiger Entfernung vom Flügel gleich ist. Ist der Druck hinter dem Gitter höher als davor, so entspricht das Gitter einer Pumpe, bei der man ja gerade diese Drucksteigerung ausnützt. Man nennt solche Gitter daher auch Pumpengitter. Ist der Druck hinter dem Gitter niedriger als davor, so entspricht es einer Turbine und wird daher auch Turbinengitter genannt. Diese zusätzliche Druckänderung im Gitter überlagert sich der Druckverteilung am Flügel und beeinflußt die Vorgänge in der Grenzschicht. Um Grenzschichtablösung zu vermeiden, kann man daher im Pumpengitter das Flügelprofil weniger, im Turbinengitter mehr belasten als beim Einzelflügel. Für eine Abschätzung dieser Grenzen hat *Ackeret* eine Regel angegeben, in der im wesentlichen die Druckdifferenz zwischen dem Druck an der Hinterkante und dem niedrigsten Druck am Flügel in Rechnung gestellt ist.

Beim Übergang vom Gitter zu den einzelnen Strömungsmaschinen treten weitere Umstände auf, welche berücksichtigt werden müssen. Im Gitter stehen die Flügel parallel zueinander, in den Strömungsmaschinen sind sie vielfach gefächert. Im Gitter ist die Strömung in jedem Querschnitt immer die gleiche, in den Strömungsmaschinen ändert sie sich und damit auch die Zirkulation um die Flügel längs der Flügelachse. Bei umlaufenden Rädern kommt noch die Wirkung von Zentrifugal- und Corioliskräften hinzu. Ich möchte hier als Beispiel nur eine Erscheinung etwas ausführlicher behandeln, die meist wenig bekannt ist. In einem rotierenden Rad einer Axialmaschine wird die Grenzschicht durch die Zentrifugalkraft radial nach außen verschoben. Durch diese Radialbewegung entstehen Corioliskräfte, welche die Grenzschicht in einem axial durchströmten Rad in Strömungsrichtung drücken. Sie wirken also ganz ähnlich, wie wenn in Strömungsrichtung ein Druckabfall vorhanden wäre. Man kann daher an den Flügelprofilen höhere Auftriebsbeiwerte erzielen, bevor die Strömung abreißt, als am ruhenden Rad. Dieser Effekt ist zuerst von meinem Mitarbeiter *Himmelskamp* untersucht worden. Er fand eine Steigerung des

maximalen Auftriebsbeiwertes $c_{a \max}$ von 1,4 beim ruhenden Rad bis auf $c_{a \max} = 3,2$ beim umlaufenden Rad. Der Effekt hängt natürlich von den geometrischen Verhältnissen ab. Er ist hauptsächlich in der Nähe der Nabe zu erwarten. Das ist insofern günstig, als es an der Nabe wegen der geringeren Umlaufgeschwindigkeit meist schwierig ist, den erforderlichen Auftrieb zu erzeugen, so daß die erhöhten Auftriebsbeiwerte die Konstruktion erleichtern.

Man kann heute viele Vorgänge in Strömungsmaschinen rechnerisch behandeln. Insbesondere ist die Theorie der Strömungsgitter so weitgehend ausgebaut, daß man fast alles einschließlich der Grenzschichtvorgänge berechnen kann. Man muß dazu allerdings vielfach elektronische Rechenmaschinen heranziehen. Ich habe aber immer die Ansicht vertreten, daß der Konstrukteur auch ohne elektronische Rechenmaschinen die Vorgänge so übersehen sollte, daß er die Wirkung seiner konstruktiven Maßnahmen beurteilen kann. In dieser Hinsicht sehe ich in diesen Rechenmaschinen, so wichtig, nützlich und notwendig sie sind, eine gewisse Gefahr für die Ausbildung des jungen Nachwuchses. Die jungen Leute müssen ja in erster Linie denken lernen. Professor *Grammel* sagte einmal, das Denken sei die unbeliebteste Tätigkeit. Es ist aber für den technischen Fortschritt eine unumgängliche Notwendigkeit und erfordert eine strenge Ausbildungsdisziplin. Nun verleiten die Leistungen der Rechenmaschinen leicht zu der Vorstellung, daß sie uns auch das Denken abnehmen, so daß die Schulung dieser geistigen Tätigkeit nicht mehr nötig ist. Aber diese Einstellung ist gefährlich und muß energisch bekämpft werden.

Für den Konstrukteur ist immer eine schöpferische Leistung erforderlich und diese erfordert eben in erster Linie Denkarbeit. Das Rechnerische ist nur Hilfsarbeit. Leider werden auch gute Konstrukteure immer mehr Mangelware. Vielleicht hängt auch das mit der Überbewertung der Rechenarbeit zusammen, die man auf Maschinen abschieben kann. Man muß sich aber bewußt werden, daß gerade diese geistige Denkarbeit und vor allem die schöpferische konstruktive Arbeit der Teil unserer Tätigkeit ist, der am meisten menschenwürdig ist. Ich habe Ihnen an einigen ausgewählten Beispielen zu zeigen versucht, welche Schwierigkeiten zu überwinden waren, um die hochentwickelte Tragflügeltheorie für Strömungsmaschinen zu verwerten. Ich glaube, daß Sie aus diesen Beispielen den Eindruck gewinnen, daß doch recht viele Fortschritte nicht mit den modernen Rechenhilfsmitteln allein hätten erzielt werden können, daß vielmehr doch recht viel Überlegung und Nachdenken dazu nötig war.